

鉄道施設の被害

海野 隆哉

長岡技術科学大学 環境・建設系

1. トンネルの被害

1.1 鉄道トンネル

J R 東日本によれば上越新幹線のトンネルは、浦佐ー長岡間にある堀の内トンネル(1=3.3km)、魚沼トンネル(1=8.624km)、妙見トンネル(1=1.459km)、滝谷トンネル(1=2.673km)の4トンネル全てで多少の被害を受けている。この内、堀の内トンネルと滝谷トンネルは一部のコンクリート落下のみであり、妙見トンネルはコンクリート落下の他中央通路に亀裂が入るなどの被害を受けた。魚沼トンネルはアーチ・側壁コンクリートの崩落、路盤コンクリート・軌道スラブの浮き上がり、中央通路の損傷ともっとも大きな被害を受けた。

この内、魚沼トンネル東京方坑口から2.4km付近の被害について報告する。最大の損傷は、上り線側覆工コンクリートの剥落(写真1)で、一辺1m前後の大きなブロックも見られる。アーチ部の大きな剥落はトロリー線付近までかかっており、支保工のH型鋼や繋ぎボルトの間をすり抜けてコンクリート片が脱落しており、背面地山とおぼしきものも見られる。この箇所より6-7m東京寄りで上り線の路盤コンクリート・軌道スラブの浮き上がり(写真2)が見られた。下り線の浮き上がり箇所はさらに4-5m東京寄りである。一方、上述の崩落箇所から20-30m新潟寄りのところでは、中央通路底面にトンネル直角軸に対して50-60°のひび割れ(写真3)が入り、その延長線上で路盤コンクリートにも変状が生じている。そこから東京方を見通すと、中央通路の側壁が2-3cm程度右側にずれている。つまり、この辺りでトンネルが「ハ」の字状に僅かながら西側に押し出されたと



写真1 剥落した覆工コンクリート片



写真2 路盤コンクリート・軌道スラブの浮き上がり

考えられる。

上越新幹線工事誌(日本鉄道建設公団、昭和59年3月)によれば、トンネルの中央部付近に背斜軸があり、起点方・終点方に向かって40°~20°の範囲で地層の傾斜が緩くなっているとあり、上記の地点では第3紀鮮新世西山層(泥岩優勢の砂岩互層およびシルト岩)が出現している。ほぼトンネル直下に震源があり、震源断層(逆断層)が横切っていることから、覆工コンクリートの大規



写真3 中央通路底面のひび割れ



写真4 坑口を塞がれた榎木トンネル

模な崩落や路盤コンクリートの浮き上がりはトンネル軸方向の圧縮による圧座が原因と考えられる。(気象庁によれば、中越地震により旧大和町で10cm・柏崎市で5cm震源断層の方向に移動しているので、魚沼トンネルでの震源断層を挟んでの圧縮ひずみはさらに大きくなったものと考えられる)

上越線では、榎峠トンネル・和南津トンネルを初めとして、堀の内ー越後滝谷間のトンネルが被害を受けた。榎峠トンネルは、長岡市の南部にあり下り線専用の単線トンネルである。妙見の大規模斜面崩壊の南端にあり、崩壊岩塊の一部が東京方坑口をほぼ塞いでいる(写真4)。岩塊は坑口か



写真5 同崩落岩塊



写真6 天王トンネル脇の斜面崩壊



写真7 斜面崩壊により露出した天王トンネル

ら数m先まで積もっている(写真5)。天王トンネルは、川口町の北部天納地区にあり上り線専用の単線馬蹄形トンネルである。

下り線は上野方には雪覆いが在るが、長岡方は斜面上に盛土をして、線路を通したものと思われる。信濃川の攻撃地形になっており、下部は岩の



写真8 天王トンネルの被害



写真10 牛ヶ島トンネルの被害



写真9 天王トンネルの被害



写真11 牛ヶ島トンネルの被害

崖になっている。地震により斜面崩壊が発生し、上り線トンネルを支えている地盤の一部も崩落した(写真6～7)。その結果、坑門や覆工コンクリートにクラックが入りコンクリートが剥落した(写真8～9)。牛ヶ島トンネルは、川口町の川口と牛ヶ島の境界にある。上野方坑口は小さな斜面から少し突き出しており、その上を県道421号線が通っている。地震により坑門の袖壁が前にせり出す(写真10)とともに、トンネル本体の坑口ブロックも前方に傾斜または移動し奥のブロックとの間に隙間(写真11)ができ、トンネル上部の土砂が落下し県道は中央部から半分が陥没すると共に穴が開いた。

北越急行のトンネルでは、十日町市美雪町でト

ンネル上部の地盤が中越地震により最大30cm程度沈下した。このトンネルは開削工法で施工されたものである。交差している国道253号線の土留めにもクラック(ただし、これは地震以前に入ったと思われる)が入っており、埋戻し材料や方法に工夫が必要と思われる。

2. 鉄道関連被害

2.1 J R信濃川発電所

J R信濃川発電所は上流の中里村宮中で信濃川から取水し、左岸段丘地帯に設置された水路トンネル等を通して、小千谷市の山本調整池、新山本調整池に給水している。途中、十日町市の浅河原調整池で分水している。

山本調整池、新山本調整池は、ともに山本山の麓の信濃川河岸段丘上に位置し、どちらも外側に向かって凸な平面形状を持つ堤体と自然斜面に囲まれている。堤体は段丘堆積物の上に載っており、心壁は第4紀更新世魚沼層群に属する堆積岩類に着岩している。

山本調整池の堤体は、ゾーン型アースダムで、原地盤面からの堤高さは10～16m、堤頂標高は98mである。湛水側ののり面勾配は3：1、下流側は2.5：1である。昭和29年から運転開始をしている。地震により、取水設備左岸側コンクリート壁背後の盛土では、クラックや最大30cmの沈下を生じた(写真12)。この盛土にコンクリート擁壁を介して続く堤体の始点部では堤頂にクラックが見られた。堤体のその他の部分では、湛水側斜面のリップラップ材の滑動や局部的沈下が見られた。堤体そのものの沈下はごく僅かである。上流側自然斜面では数カ所で小規模な段差を生じていたが、調整池にはほとんど影響がない。コンクリート構造物では、左岸側擁壁の打継ぎ目が開き止水アスファルトが飛び出していたり、右岸寄りの導流壁にクラックが生じたり水平打継ぎ目に沿ってコンクリート片が剥離し、鉄筋が露出していた。また、水圧鉄管からの漏水が生じた。

新山本調整池の堤体は、中央遮水型フィルダムで、堤高は最大42mで、堤長の60%は堤高が30mを越えている。段丘砂礫層が下位に厚く堆積しているため、10～30m掘削してから堤体を築造した。堤頂標高は159.5mである。湛水側ののり面勾配は3.4：1、下流側は2.1：1である。平成2年から運転開始している。地震により、堤高30m以上の区間を中心に、堤体頂部のアスファル



写真12 山本調整池取水設備の被害



写真13 新山本調整池切り土斜面の被害

土留め壁の前傾等が見られた(写真13)。

浅河原調整池は、同名の川の谷筋を堰き止めて造られたもので、信濃川の河岸段丘上にある。基盤岩は、山本調整池同様第4紀更新世堆積岩類である。堤体は、ゾーン型アースダムで、堤高は最大37mである。堤頂標高は165.5mである。湛水側ののり面勾配は(2.8～3.0)：1、下流側は(2.0～2.5)：1である。昭和14年から運転開始している。地震により、堤頂に湛水側が合計60cm程度下がる段差が生じた(写真14)。その他の被害はごく軽微である。

2.2 駅・線路

越後滝谷駅には、ホームが2面ある。1面は、改札口と通じており、1面は島式ホームである。2面とも盛土式になっており、地震でホームの舗装が波打ったり、盛土が沈下して土留めと段差が



写真 14 浅河原調整池堰堤頂部にできた段差

できた。舗装が波打ったのは、屋根や階段の支柱部分で支えられ残りが沈下したためである。土留めは傾斜したものもあったが、その上に載っている笠石がホーム中間部では纏まってほとんど落下していた。横方向への強い揺れによって一気に落ちたものと考えられる。

一方、激震地域内にある越後川口駅は、同様に盛土式ホーム2面からなっているが、ホームの沈下は僅かしか無く、笠石の落下もごく一部であった。ただ、上り線側ホーム土留めの一部（待合室～階段間）が盛土の沈下が見られないのに外側に張出し、張出し部の東京方では線路が屈曲していた。また、ホームから100～200m上野寄りのところ(素地)では、3本(4本)並んだ線路が、線路に対して時計回りに20°程度の角度を以て次々位置を変えて屈曲していた。駅と線路は切り土地盤上にあると思われ、震動の影響よりも地盤のひずみの影響が大きかったと考えられる。また、線路下を横断する川口駅連絡地下道や竹田橋りょう(歩行者専用地下道)取付け部では、両側の簡易土留めが押され、舗装コンクリートが折れて「ハ」の字型になるなど地盤から浮き上がった(写真15)。

上越線越後滝谷から小千谷市浦柄地区、川口町天納から牛ヶ島・川口地区にかけて、斜面崩壊や地盤の沈下変位に伴う線路の変状が見られた(写真16)。



写真 15 竹田橋りょう取付け部の被害



写真 16 地盤の沈下変位に伴う線路の変状

2.3 脱線

走行中の新幹線列車が開業以来初めて脱線した。1995年の兵庫県南部地震以後の研究で、研究者の間では地震による新幹線列車の脱線の可能性が指摘されていたが、実際に起きてみると大変な衝撃であったと思う。脱線したとき325号は停電と同時に非常ブレーキが作動したと考えられるが、それにもかかわらず脱線をし、さらに1.4km走って停止した。

国交省航空・鉄道事故調査委員会によれば、浄土川橋梁(滝谷トンネル出口から335m長岡寄り。東京起点206km035.65m)から155m長岡寄りの辺りの右レール頭頂面に線状の痕跡(車輪の乗り上がり)があり、さらに15～16m行ったところから軌道を外れ完全に脱線したと見られる痕跡があった。それとともに、浄土川橋梁より76m東京寄りの辺りから170m長岡寄りの辺り(明白に



写真 17 車輪の擦過痕



写真 18 高欄の衝突跡



写真 19 脱線が始まったとされる地点から
長岡駅方的高架橋



写真 20 脱線が始まったとされる地点から
滝谷トンネル方的高架橋

脱線したところ)まで延長 246m にわたって最大 11mm の軌間拡大等が認められたとのことである。この軌間拡大があったということは、脱線直前にとき 325 号とレールの間できわめて強い水平力のやりとりがあったということを推測させ、それが脱線に繋がったと見られる。強い水平力を生じた原因は、①地震動に車両が共振した ②きわめて強い水平地震動を受けた の二つが考えられる。

軌間拡大区間の地質は沖積層が 15m 以上と比較的厚く堆積しており、その下の洪積層も厚く、

しかも岩盤表面は 1/6 程度の傾斜で長岡方に向かって深くなっている。堆積層が厚いことは地震動が増幅されやすいとともに周期が延び新幹線車両と共振しやすくなることに繋がる。一方、岩盤表面が傾斜ししかも徐々に緩くなっていく場合には、フォーカシング効果が生じて地震波が集中し局所的に地震動がきわめて大きくなる可能性がある。ちなみに 当箇所から 4km ほど南にある国交省妙見堰管理支所では E-W 成分で 1,529gal(U-D 成分 798gal, 3 成分合成 1,715gal, 計測震度 6 強相当)を記録している。地形的には山

地から平地へ移ったところで類似している。また、当箇所にもっとも近い地震動記録であり、本震による川口町の加速度記録に匹敵するものである。

構造物は、浄土川橋梁を含めて東京方は壁式橋脚であり、長岡方は主としてラーメン高架橋である。基礎は直接基礎と杭基礎であるが、いずれも沖積層中で止まっている。軌間拡張区間のラーメン高架橋は全部で3ブロックあるが、高さは比較的安く一層ラーメンであり、このうち東京方の2ブロックは鋼板巻き耐震補強がなされており、残りの1ブロックは土被りが3 m程度と大きく、地表に出ている柱の長さは5～6 mである。このように見てくると線路直角方向に強い地震動を受けても比較的壊れにくい構造である。したがって、この区間に関しては、構造物の被害が軽微であったから地震動はそれ程強くなかったということにはならない。

以上から、きわめて強い地震動と共振現象が、脱線に至った原因とあらためて推察される。